



*IPW*

PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of

Wolfgang BECKER, Markus BECK, Klaus GOTH,  
Mike PAELMER, Claus-Dieter REINIGER and  
Daniel ZAUNER

Appln. No.: 10/790,387

Confirmation No.: 1070

Filed: March 1, 2004

Group Art Unit: 1725

For: PROCESS FOR LASER BEAM WELDING WITH  
REDUCED FORMATION OF END CRATERS

Attorney Docket No.: 3926.071

Customer Number: 000041288

SUBMISSION CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT

Mail Stop

Commissioner for Patents

P.O. Box 1450

Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Attached please find the following:

1. Certified Copy of the Priority Document, German  
Application No. 103 09 159.9 filed February 28, 2003.

Respectfully submitted,

Stephan A. Pendorf  
Registration No. 32,665

PENDORF & CUTLIFF  
5111 Memorial Highway  
Tampa, Florida 33634-7356  
(813) 886-6085

Date: June 2, 2004

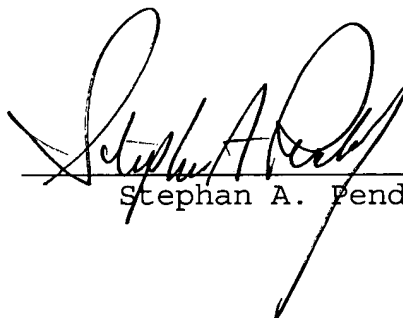
U.S. Application No. 10/790,387  
SUBMISSION CERTIFIED COPY  
OF PRIORITY DOCUMENT

ATTORNEY DOCKET NO.: 3926.071

**CERTIFICATE OF MAILING AND AUTHORIZATION TO CHARGE**

I hereby certify that the foregoing SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT for U.S. Application No. 10/790,387 filed March 1, 2004, was deposited in first class U.S. mail, postage prepaid, addressed: Mail Stop\_\_, Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on this 2nd day of June, 2004.

The Commissioner is hereby authorized to charge any additional fees, which may be required at any time during the prosecution of this application without specific authorization, or credit any overpayment, to Deposit Account No. 16-0877.

  
\_\_\_\_\_  
Stephan A. Pendorf



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 09 159.9

**Anmeldetag:** 28. Februar 2003

**Anmelder/Inhaber:** DaimlerChrysler AG, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Laserstrahlschweißen mit  
reduzierter Bildung von Endkratern

**IPC:** B 23 K 26/24

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 15. Dezember 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Agurks

DaimlerChrysler AG

Stückrad

27.02.2003



5

Verfahren zum Laserstrahlschweißen  
mit reduzierter Bildung von Endkratern

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laserstrahlschweißen mit reduzierter Bildung von Endkratern gemäß dem Oberbegriffen der Patentansprüche 1 und 3. Solche Verfahren sind bereits aus der DE 196 30 521 A1 bekannt.

15

Beim Laserstrahlschweißen bildet sich am Ende der Schweißnaht ein sogenannter Endkrater. Der Endkrater entsteht infolge der Volumenschrumpfung der erstarrenden Schmelze nachdem der Laserstrahl am Nahtende ausgeschaltet oder umpositioniert wurde. Der Endkrater wirkt als geometrische Kerbe und verschlechtert die mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht, so daß es zu Löchern oder Rissen im Bereich des Endkraters kommen kann.

20

25

Zur Verringerung der Endkraterbildung wird gemäß der DE 196 30 521 A1 die Laserleistung am Nahtende reduziert (sog. „Leistungsrampe“) oder die Schweißgeschwindigkeit erhöht (sog. „Geschwindigkeitsrampe“).

30

Dieses Vorgehen reduziert das Problem geringfügig, ist aber häufig nicht ausreichend.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, ein Verfahren mit verringerter Endkraterbildung anzugeben.

35

Die Erfindung ist in Bezug auf das zu schaffende Verfahren zum Laserstrahlschweißen mit reduzierter Bildung von Endkratern durch die Merkmale der Patentansprüche 1 und 3 wiedergegeben. Die weiteren Ansprüche enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Verfahrens (Patentansprüche 2 und 4 bis 11).

Die Aufgabe wird bezüglich des zu schaffenden Verfahrens erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zum Nahtende der Fokus des Laserstrahls von einer zu schweißenden Oberfläche entfernt wird. Vorzugsweise beginnt die Defokussierung wenige mm vor dem Nahtende und erreicht ihr Maximum am Nahtende. Denkbar ist aber auch ein vorheriges Erreichen des Maximums.

Anders als bei einem Verfahren gemäß der DE 196 30 521 A1 wird hier die Laserleistung konstant gehalten. Durch die zunehmende Defokussierung erfolgt aber eine zunehmende Aufweitung der Laserbearbeitungsfläche auf der zu schweißenden Oberfläche, wodurch sich eine großflächigere und gleichmäßigere Erstarrungszone der Schmelze ausbildet.

Vorteilhaft ist es auch, wenn zusätzlich zum Nahtende hin die Schweißgeschwindigkeit reduziert wird, und/oder am Nahtende eine über die Naht lateral hinausreichende, lokale Strahlbewegung erfolgt.

Die Reduzierung der Schweißgeschwindigkeit bewirkt, daß trotz zunehmender Aufweitung der Laserbearbeitungsfläche der Energieeintrag pro Flächeneinheit der Schweißnaht pro Zeiteinheit der Laserbearbeitung gleich bleibt oder zumindest mit verringerter Geschwindigkeit abnimmt. Auch hieraus resultiert eine gleichmäßigere Erstarrungszone der Schmelze.

Die laterale Strahlbewegung bewirkt eine zusätzliche Vergleichmäßigung der Erstarrungszone.

5 Eine weitere Vergleichmäßigung ist durch die Kombination beider Merkmale erzielbar.

10 In einer alternativen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Verfahren gemäß der DE 196 30 521 A1 verbessert, indem zusätzlich zu einer Absenkung der Laserleistung eines der drei o.g. Verfahrens-Merkmale oder eine Kombination daraus Anwendung findet, woraus ebenfalls eine gleichmäßigere Erstarrungszone resultiert.

15 Besonders geeignete laterale Strahlbewegungen verlaufen in Form einer enger werdenden Spirale um das Zentrum des Nahtendes oder in Form einer transversal zur Naht überlagerten Kreisbewegung um das Zentrum des Nahtendes. So wird eine gleichmäßige Überdeckung eines verbreiterten Nahtbereiches gewährleistet, woraus ebenfalls eine gleichmäßigere Erstarrungszone resultiert.

25 Vorzugsweise erfolgt die Defokussierung des Laserstrahls linear ansteigend. Ein derartiger Verlauf ist regelungstechnisch leicht zu verwirklichen und gewährleistet eine gleichmäßige Aufweitung des Laserstrahls und damit eine gleichmäßige Erstarrung der Schmelze. Für bestimmte Anwendungen und/oder Materialien können jedoch auch andere Formen des Fokussierungsverlaufes vorteilhaft sein, z.B. ein quadratischer oder gar exponentieller Anstieg der Defokussierung.

30

Vorzugsweise befindet sich der Fokus am Nahtende, d.h. bei maximaler Defokussierung, in einer solchen Entfernung von der zu bearbeitenden Oberfläche, dass die Bestrahlungsfläche des

Lasers auf der Oberfläche dessen Fokusfläche um mindestens 50 Prozent, besser 200 Prozent übersteigt.

Die beschriebenen Verfahrensschritte können prinzipiell auf  
5 einer konventionellen Schweißvorrichtung ablaufen, die vorzugsweise aus Präzisions- und Geschwindigkeitsgründen einen Roboter zur Strahlführung beinhaltet.

Als besonders vorteilhaft erweist sich das erfindungsgemäße  
10 Verfahren jedoch, wenn der Laserstrahl mittels einer Scanner-Einrichtung auf die Oberfläche gelenkt wird. Eine Scanner-Einrichtung ist eine besonders schnelle und flexible Strahl-  
ablenk-Einrichtung, beispielsweise ein Spiegelsystem (aus  
mindestens einem ein- oder mehr-achsig ansteuerbaren schwenk-  
15 baren Spiegeln, vgl. z.B. DE 100 27 148 A1) oder auch akustooptische Modulatoren.

Der große Vorteil besteht darin, daß eine leicht programmierbare Scannereinrichtung den Laserstrahl in sehr kurzen Zeit-  
20 räumen auf nahezu beliebigen Bearbeitungsbahnen über die zu bearbeitende Fläche lenken kann und so insbesondere auch fein abgestimmte Änderungen der Schweißgeschwindigkeit oder komplizierter gestaltete laterale Strahlbewegungsbahnen problemlos darstellen kann.

25 Vorteilhafterweise beträgt die Länge der Nahtstrecke am Nahtende, innerhalb der die Leistung, die Geschwindigkeit oder der Fokus variiert werden oder die laterale Strahlbewegung erfolgt, 2 bis 5 mm, vorzugsweise 3 mm.

30 Die Laserleistung wird innerhalb der Nahtstrecke vorzugsweise von 2000 bis 1500 Watt, insbesondere von 1700 Watt, auf 500 bis 0 Watt, insbesondere auf 300 Watt, reduziert.

Die Nahtstrecke wird vorzugsweise innerhalb von 50 bis 100 ms, insbesondere innerhalb von 70 ms, durchfahren.

Die Ausdehnung der lateralen Strahlbewegung beträgt lateral zur Schweißnaht zu jeder Seite vorzugsweise 1 bis 5 mm, insbesondere 2 mm.

Bei Einhaltung der letztgenannten Verfahrensparameter ergeben sich geeignete Erstarrungszonen am Schweißnahtende beim Schweißen der im Automobilbau üblicherweise verwendeten Stahlbleche.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist jedoch ebenso zum Schweißen anderer Metalle oder auch von Kunststoffen geeignet.

Nachfolgend wird anhand von sechs Ausführungsbeispielen das erfindungsgemäße Verfahren näher erläutert:

In einem ersten Ausführungsbeispiel wird ein Stahl-Blech ausgerichtet, eine Scanner-Einrichtung wird gleichmäßig darüber verfahren und lenkt einen Laserstrahl über die Bearbeitungsfläche. Die Scanner-Einrichtung besteht aus einem drei-dimensional schwenkbaren computer-gesteuerten Spiegelsystem. Die Scannereinrichtung weist circa 300 mm Abstand zur Oberfläche des Bleches auf, der Laserfokus befindet sich auf der zu schweißenden Oberfläche. Circa 3 mm vor dem Erreichen des programmierten Nahtendes wird der Fokus des Laserstrahls von der Oberfläche derart entfernt, daß die Bearbeitungsfläche des Laserstrahl auf der Oberfläche linear ansteigt und am Nahtende eine Bearbeitungsfläche von circa 100 Prozent der Fokusfläche einnimmt. Synchron zur Entfernung des Fokus von der Oberfläche wird die Schweißgeschwindigkeit reduziert der-



art, daß sie am Nahtende circa 50 Prozent der ursprünglichen Geschwindigkeit von circa 15 Metern pro Minute beträgt. Die Laserleistung bleibt während dessen konstant auf 1700 Watt.

5 In einem zweiten Ausführungsbeispiel erfolgt zusätzlich eine über die Naht lateral hinausreichende, lokale Strahlbewegung in Form einer transversal zu Naht überlagerten Kreisbewegung um das Zentrum des Nahtendes. Circa 3 mm vor dem Nahtende wird der Laserstrahl so gesteuert, daß das Zentrum der Bearbeitungsfläche eine Kreisbewegung um das Zentrum der vorherigen Bearbeitungsfläche beschreibt. Diese Kreisbewegung wird eine zur Naht transversale Komponente in Richtung auf das programmierte Nahtende überlagert, so daß eine Wendelbewegung um eine die bisherige Naht fortsetzende, gedachte Linie in  
10 Richtung auf das Nahtende resultiert. Die Wendel hat einen Radius von circa 1 mm, der jedoch nicht sprunghaft, sondern schnell ansteigend erreicht wird. Der Laserstrahl durchläuft die gesamte Wendelbewegung in circa 70 ms.

20 In einem dritten Ausführungsbeispiel wird die Laserleistung circa 2,5 mm vor dem Nahtende kontinuierlich von 2000 Watt auf 500 Watt am Nahtende abgesenkt. Synchron dazu wird die Schweißgeschwindigkeit von 16 Metern pro Minute auf 4 Meter pro Minute gesenkt.

25

In einem vierten und fünften Ausführungsbeispiel erfolgt alternativ zur Reduzierung der Schweißgeschwindigkeit bzw. zusätzlich eine über die Naht lateral hinausreichende, lokale Strahlbewegung in der oben beschriebenen Form.

30

In einem sechsten Ausführungsbeispiel erfolgt zusätzlich eine Defokussierung des Laserstrahls derart, daß die Bearbeitungsfläche auf maximal 100 Prozent ansteigt.

5

Das erfindungsgemäße Verfahren erweist sich in den Ausführungsformen der vorstehend beschriebenen Beispiele als besonders geeignet für das Laserschweißen von Stahl-Bleichen in der Automobilindustrie.

10

Insbesondere kann so eine deutliche Reduzierung der Endkranterbildung erreicht werden, wodurch die mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht deutlich verbessert werden. Durch den Einsatz eines Laserscanners können zusätzlich erhebliche Vorteile bezüglich der Bearbeitungszeit und Genauigkeit erzielt werden.

15

20

Die Erfindung ist nicht nur auf die zuvor geschilderten Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern vielmehr auf weitere übertragbar.

25

30

Der Abstand der Scanner-Einrichtung von der Oberfläche, die Laserleistung, die Schweißgeschwindigkeit, die Form der lateralen Strahlbewegung und der Grad der Defokussierung sind nicht zwingend durch die genannten Grenzen und Ausführungsbeispiele vorgegeben, sondern können bei Bedarf unter Zuhilfenahme des fachmännischen Könnens, beispielsweise an das zu schweisende Material angepaßt werden. Dies gilt insbesondere für das Laserschweißen von Kunststoffen wie es z.B. in der [Konstruktionspraxis 09/2002, Seiten 88-89] beschrieben ist.

DaimlerChrysler AG

Stückrad  
27.02.2003Patentansprüche

1. Verfahren zum Laserstrahlschweißen  
mit reduzierter Bildung von Endkratern,

5 d a d u r c h      g e k e n n z e i c h n e t ,

daß zum Nahtende der Fokus des Laserstrahls von einer zu  
schweißenden Oberfläche entfernt wird.

- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h      g e k e n n z e i c h n e t ,

daß zum Nahtende die Schweißgeschwindigkeit reduziert  
wird,

und/oder

- 15 daß am Nahtende eine über die Naht lateral hinausreichen-  
de, lokale Strahlbewegung erfolgt.

3. Verfahren zum Laserstrahlschweißen  
mit reduzierter Bildung von Endkratern,

- 20 wobei zum Nahtende die Laserleistung reduziert wird,

d a d u r c h      g e k e n n z e i c h n e t ,

- 25 daß zum Nahtende die Schweißgeschwindigkeit reduziert  
wird,

und/oder

daß am Nahtende eine über die Naht lateral hinausreichen-  
de, lokale Strahlbewegung erfolgt

und/oder

- 30 daß zum Nahtende der Fokus des Laserstrahls von einer zu  
schweißenden Oberfläche entfernt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß die lokale Strahlbewegung in Form einer enger werden-  
5 den Spirale um das Zentrum des Nahtendes erfolgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß die lokale Strahlbewegung in Form einer transversal  
10 zu Naht überlagerten Kreisbewegung um das Zentrum des  
Nahtendes erfolgt.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
15 daß die Defokussierung des Laserstrahls linear erfolgt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß das Laserschweißen mittels eines Laserscanners er-  
20 folgt.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß die Nahtstrecke am Nahtende, innerhalb der die Leis-  
25 tung, die Geschwindigkeit oder der Fokus variiert werden  
oder die laterale Strahlbewegung erfolgt, eine Länge von  
2 bis 5 mm, vorzugsweise 3 mm, aufweist.
9. Verfahren nach Anspruch 8,  
30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß innerhalb der Nahtstrecke die Laserleistung von 2000  
bis 1500 Watt, vorzugsweise 1700 Watt, auf 500 bis 0  
Watt, vorzugsweise 300 Watt, reduziert wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß die Nahtstrecke innerhalb von 50 bis 100 ms, vorzugsweise 70 ms, durchfahren wird.

5

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß die Ausdehnung der lateralen Strahlbewegung lateral zur Schweißnaht zu jeder Seite 1 bis 5 mm, vorzugsweise 2 mm, beträgt

10

DaimlerChrysler AG

Stückrad  
27.02.2003

Zusammenfassung

Verfahren zum Laserstrahlschweißen  
mit reduzierter Bildung von Endkratern

5 Beim Laserstrahlschweißen bildet sich am Ende der Schweißnaht ein sogenannter Endkrater. Der Endkrater entsteht infolge der Volumenschrumpfung der erstarrenden Schmelze nachdem der Laserstrahl am Nahtende ausgeschaltet oder umpositioniert wurde. Der Endkrater wirkt als geometrische Kerbe und verschlechtert die mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht,  
10 so daß es zu Löchern oder Rissen im Bereich des Endkraters kommen kann.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein  
15 Verfahren mit verringerter Endkraterbildung anzugeben.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß zum Nahtende der Fokus des Laserstrahls von der zu schweißenden Oberfläche entfernt wird.